

<p>Compétences</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie) • Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu • Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire • Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule • Connaître et utiliser la relation $p = \frac{h}{\lambda}$ • Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif • Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste. <p>Compétences Expérimentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information 	<p>Plan</p> <p>1- Lumière : Onde ou particule ?</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1- Historique 1.2- Dualité onde-particule 1.3- Onde et matière 1.4- Interférence particule par particule aspect probabiliste <p>2- Comment fonctionne un laser ?</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.1- émission spontanée 2.2- Emission stimulée 2.3- Inversion de population 2.4- L'amplification 2.5- Principales propriétés du laser
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1- Lumière : Onde ou particule ?

1.1- Historique

Petite histoire de la lumière par wikipedia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Dualité_onde-corpuscule

http://thierry.col2.free.fr/restreint/exovideo_lycee/TS_chapitre/ch15_dualite_onde_particule.htm

1.1.1- Huygens et Newton

La première théorie complète de la lumière a été établie par le physicien néerlandais Christian Huygens au XVII^e siècle. Il proposait une théorie ondulatoire de la lumière et a en particulier démontré que les ondes lumineuses pouvaient interférer de manière à former un front d'onde se propageant en ligne droite. Toutefois, sa théorie possédait certaines limitations en d'autres domaines et fut bientôt éclipsée par la théorie corpusculaire de la lumière établie à la même époque par Isaac Newton.

Newton proposait une lumière constituée de petites particules, expliquant ainsi simplement les phénomènes de réflexion optique. Au prix de complications considérables, cette théorie pouvait également expliquer les phénomènes de réfraction à travers une lentille, et de dispersion d'un faisceau lumineux à travers un prisme.

Bénéficiant de l'immense prestige de Newton, cette théorie ne fut pas remise en question pendant plus d'un siècle.

1.1.2- Fresnel, Maxwell et Young

Au début du XIX^e siècle, les expériences de diffraction faites par Thomas Young et Augustin Fresnel ont démontré l'exactitude des théories de Christiaan Huygens : ces expériences prouvèrent que quand la lumière est envoyée sur un réseau de diffraction, on observe un motif d'interférence caractéristique, très semblable aux motifs résultant de l'interférence d'ondulations sur l'eau; la longueur d'onde de la lumière peut être calculée à partir de tels motifs.

Le point de vue ondulatoire n'a pas remplacé immédiatement le point de vue corpusculaire, mais s'est imposé peu à peu à la communauté scientifique au cours du XIXe siècle, surtout grâce à l'explication en 1821 par Augustin Fresnel du phénomène de polarisation de la lumière que ne pouvait expliquer l'autre approche, puis à la suite de l'expérience menée en 1850 par Léon Foucault sur la vitesse de propagation de la lumière. Ces équations furent vérifiées par maintes expériences et le point de vue de Huygens devint largement admis.

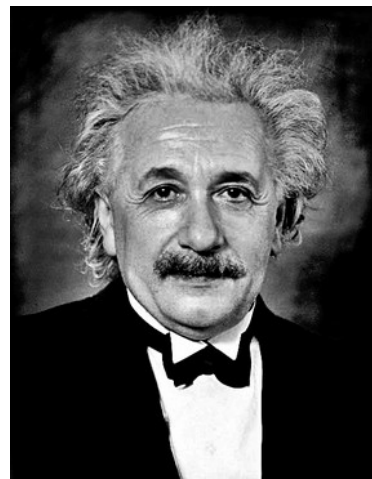
James Maxwell, à la fin du XIXe siècle, expliqua la lumière en tant que propagation d'ondes électromagnétiques avec les équations de Maxwell.

1.1.3- Einstein et les photons

En 1905, Albert Einstein réintroduisit l'idée que la lumière pouvait avoir une nature corpusculaire : il expliqua l'effet photoélectrique (émission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière) , en postulant l'existence des photons, sortes de grains d'énergie lumineux avec des qualités de particules. Einstein admit que la fréquence ν (ν) de cette lumière, est liée à l'énergie E des photons par la relation de Planck :

$$E = h\nu \quad \text{où } h \text{ est la constante de Planck } (6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}).$$

Cette relation prit le nom de relation de Planck-Einstein. Cette vision fut contestée très longtemps, parce qu'elle ne s'accorde pas facilement avec les comportements spécifiquement ondulatoires tels que la diffraction.



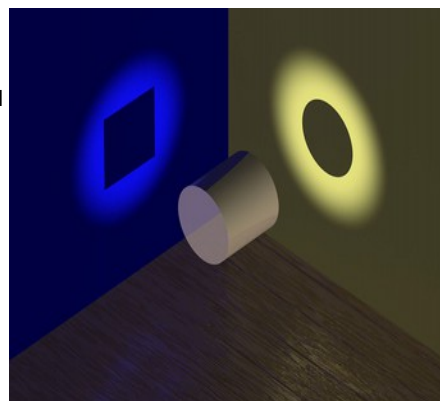
1.2- Dualité onde-particule

Les concepts classiques d'onde et de particule pris isolément sont insuffisants pour interpréter complètement la nature de la lumière.

Exemple : métaphore du cylindre

Suivant les conditions d'observation, le cylindre se comporte tantôt comme un cercle, tantôt comme un rectangle. La nature du cylindre est pourtant différente de ces deux éléments pris isolément.

Nature de la lumière : La lumière se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme une particule: ce sont les conditions de l'expérience qui orientent son comportement. Pour désigner ce double comportement, on utilise l'expression de dualité onde-particule.



Un photon est donc une particule non chargée, de masse nulle et se déplaçant à la vitesse de la lumière.

L'énergie de la lumière est transportée par des photons qui présentent un aspect particulaire et ondulatoire.

L'énergie d'un photon est

$$E = h\nu \quad \text{avec} \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

Avec E , énergie (en J), $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s constante de Planck
et ν fréquence de l'onde (en Hz)

1.3- Onde et matière

En 1924, Louis de Broglie, physicien français (prononcer " DE BREUIL ") propose de généraliser la dualité onde-particule, admise pour la lumière, à tous les objets microscopiques: il émet ainsi l'hypothèse que ce double comportement est observable chez tous les objets microscopiques de la matière (électrons, protons, neutrons...) (hypothèse est confirmée en 1927).



Les objets microscopiques de la matière (électrons, protons...) présentent, comme la lumière, un double aspect ondulatoire et particulaire.

A toute particule on peut associer une quantité de mouvement $p = m \times v$ (cf chap 4)

Ainsi la dualité onde-particule conduit à associer une onde de longueur d'onde λ à toute particule, matérielle ou non, de quantité de mouvement de valeur p telle que :

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Application : calculer la longueur d'onde associée à

- un électron de masse $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ayant une vitesse $v = 20 \cdot 10^6$ m/s

- une balle de golf de masse $m = 45$ g a une vitesse $v = 36$ m/s

conclusion : pour que les effets ondulatoires de la matière se manifestent il faut que la masse des particules soit très petite. Pour une balle de golf, on ne verra pas l'effet ondulatoire (diffraction ou interférence) sauf si on trouve des obstacles de la taille de 10^{-34} m ...

Ex n°16 p391

13 Diffraction de neutrons

Tout comme la diffraction de rayons X, la diffraction de neutrons est utilisée pour connaître la structure des cristaux. Les neutrons pénétrant plus facilement la matière, la diffraction se fait à travers tout l'échantillon.

1.a. De quels types d'ondes s'agit-il ?

b. La distance entre atomes étant proche de 10^{-10} m, quelle doit être l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de ces ondes ?

2. Calculer la vitesse, puis la longueur d'onde de De Broglie associée à un neutron d'un réacteur nucléaire de masse $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg et d'énergie cinétique :

a. $E = 25$ meV (neutrons « lents » dans l'eau du réacteur) ;

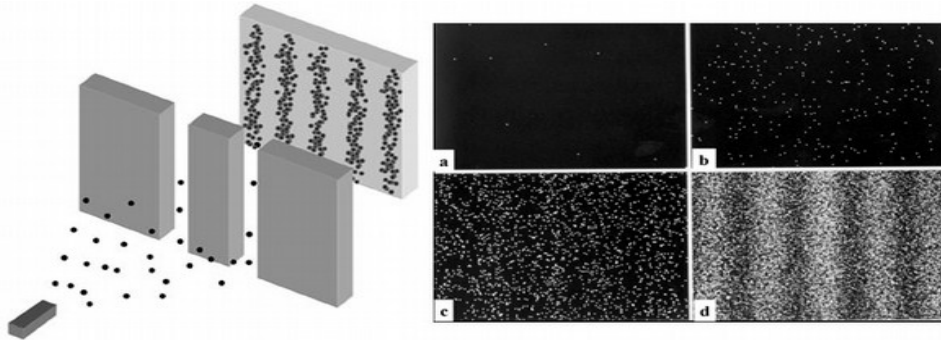
b. $E = 116$ meV (neutrons « rapides »).

3. Ces neutrons conviennent-ils pour la diffraction sur des cristaux ?

1.4- Interférence particule par particule aspect probabiliste

http://thierry.col2.free.fr/restreint/exovideo_lycee/TS_chapitre/ch15_dualite_onde_particule.htm

vidéo Exovidéo de Thierry Collet [ici](#)



http://fr.wikipedia.org/wiki/Dualité_onde-corpuscule#/media/File:Wave-particle_duality.gif

Les phénomènes quantiques présentent un aspect probabiliste : on peut au mieux établir la probabilité de présence d'une particule à un endroit donné.

21 Interférences d'électrons

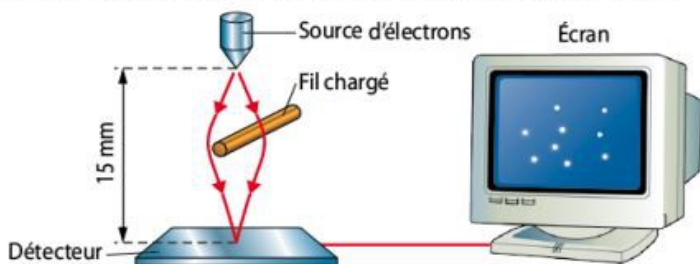
1. En 1954, les physiciens allemands G. Möllenstedt et H. Dücker réalisent des interférences avec des électrons, une expérience qui sera reprise par A. Tonomura à la fin des années 1970 [doc. 17 pages 241]. Ils utilisent une source qui émet 10^7 électrons par seconde.

a. Quelle durée Δt_1 s'écoule entre l'émission de deux électrons ?

b. La distance entre l'émetteur et le détecteur est 15 mm et la vitesse des électrons est $v = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Estimer la durée Δt_2 qui sépare l'émission d'un électron de son impact sur le détecteur.

c. Combien y a-t-il d'électrons dans le dispositif à un instant donné ?

2. Dans l'expérience d'A. Tonomura, un fil métallique chargé positivement dévie les électrons, provoquant ainsi la rencontre sur le détecteur des deux faisceaux passant de part et d'autre du fil.



En quoi ce dispositif permet-il de faire interférer des électrons ?

3. Quel est l'aspect de l'écran, selon que le temps d'acquisition du détecteur est :

a. très inférieur à Δt_1 ;

b. de l'ordre de Δt_1 ;

c. très supérieur à Δt_1 ?

2- Comment fonctionne un laser ?

C'est Pas Sorcier : les lasers. LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplification lumineuse par émission stimulée de rayonnement)

2.1- émission spontanée

Animation : émission spontanée (LASER_FR.mp4)

Rappel de 1ère S :

lorsqu'un atome passe d'un niveau d'énergie supérieure à un niveau énergie inférieur (quantifié), l'énergie libérée est : $\Delta E = h\nu$

L'émission est spontanée, imprévisible dans le temps et dans l'espace, c'est à dire n'importe quand et dans n'importe quelle direction

2.2- Emission stimulée

En 1917, Einstein prévoit que l'émission peut être stimulée. C'est à dire que la desexcitation de l'atome se fait grâce à un photon. Et le photon alors émis à la même fréquence et la même direction que le photon incident : cela crée des photons "jumeaux"

Lors d'une émission stimulée, un photon incident interagit avec un atome initialement excité et provoque l'émission d'un second photon par cet atome. L'énergie du photon incident doit être égale à la différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie de cet atome. Deux photons sont obtenus après émission stimulée : le photon émis et le photon incident. Ces deux photons ont même fréquence, mêmes direction et sens de propagation et sont en phase.

2.3- Inversion de population

L'émission stimulée est favorisée par l'inversion de population qui consiste à maintenir plus d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental. Cette situation est obtenue grâce à un apport d'énergie.

On excite au niveau 3, les atomes redescendent très vite au niveau deux où ils s'accumulent. L'émission spontanée peut avoir lieu.

2.4- L'amplification

Cavité + miroir

Dans l'oscillateur laser, limité par deux miroirs, les émissions stimulées successives font augmenter le nombre de photons qui ont même fréquence, mêmes direction et sens de propagation et qui sont en phase. C'est l'amplification par effet laser.

2.5- Principales propriétés du laser

Un laser émet un faisceau lumineux MONOCHROMATIQUE (tous les photons ont même fréquence.)

Ces photons sont en phases (faisceau lumineux cohérent)

Il est très DIRECTIF, ce qui permet une concentration spatiale de l'énergie.

Les lasers à impulsion permettent de plus une concentration temporelle de l'énergie.